

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК**

ЧЕПІЛЬ ВОЛОДИМИР ПЕТРОВИЧ

УДК 550.8:553.98(477)

**ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ТА ОСВОЄННЯ
НЕТРАДИЦІЙНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ДЖЕРЕЛ
ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ**

Спеціальність 04.00.17 – геологія нафти і газу

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Київ - 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті геологічних наук НАН України

Науковий керівник: доктор геологічних наук, старший науковий співробітник **Багрій Ігор Дмитрович**, Інститут геологічних наук НАН України, заступник директора.

Офіційні опоненти: доктор геологічних наук, професор **Федоришин Дмитро Дмитрович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу МОН України, завідувач кафедри нафтогазової геофізики

доктор геологічних наук, старший науковий співробітник
Лазарук Ярослав Григорович, Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, провідний науковий співробітник відділу геології нафти та газу

Захист відбудеться 19 грудня 2019 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.162.02 Інституту геологічних наук НАН України за адресою: 01054, м. Київ, вул. О. Гончара, 55-б.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту геологічних наук НАН України (01054, м. Київ, вул. О. Гончара, 55-б).

Автореферат розісланий « » листопада 2019 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, кандидат геологічних наук

 Т. М. Сокур

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Стан енергетичного сектору України та проблема забезпечення її енергетичної безпеки потребують невідкладного нарощування ресурсів та запасів вуглеводнів з метою збільшення їх власного видобутку.

Суттєве нарощування в останні роки обсягів видобутку газу та нафти із нетрадиційних джерел в США, Канаді, інтенсифікацій досліджень їх проблеми в багатьох країнах світу, що вже вплинуло на перерозподіл джерел постачання газу, зміни пріоритетів визначає **актуальність** роботи. А падіння видобутку вуглеводнів в Україні спонукає до вивчення нових перспективних територій зі значними ресурсами, в тому числі і на нетрадиційні джерела вуглеводнів, геологічне вивчення яких знаходиться на початковій стадії. Це також відноситься і до Західного регіону, зокрема, Волино-Подільського схилу Східно-Європейської платформи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження за темою роботи розпочаті під час навчання у магістратурі КНУ ім. Тараса Шевченка, де автор приймав участь у виконанні геолого-тематичних робіт. Дисертаційна робота виконана за час навчання в аспірантурі ІГН НАН України. Вона відповідає викликам "Енергетичної стратегії України на період до 2030 р.", яка передбачає нарощування пошуків, розвідки і прискореної розробки нових родовищ, у тому числі і нетрадиційних джерел вуглеводнів. Робота безпосередньо пов'язана з науковими планами ІГН НАН України, зокрема, з темами "Розробка удосконаленої методики пошуку об'єктів, перспективних на видобуток вуглеводнів над шахтними полями та ділянок підвищеної дегазації шахтних полів на прикладі Лисичанського геолого-промислового району та Львівсько-Волинського вугільного басейну" (держреєстрація № 0113 U2602, 2013-2015 рр.) та "Обґрунтування вибору перспективних об'єктів на видобуток вуглеводнів у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну" (держреєстрація № 0116 U005200, 2016-2020 рр.). Робота також пов'язана з тематичними планами НАК "Нафтогаз України", зокрема, з геолого-тематичною роботою "Перспективи пошуків неконвенційних покладів вуглеводнів на прикордонних з Польщею територіях України та проблеми охорони навколишнього середовища" (держреєстрація № У-12-122/24; 2012-2013 рр.), виконаною за участю автора.

Мета і завдання дослідження. Метою є узагальнення, аналіз та вивчення геологічної будови палеозойських (силурійських чорносланцевих та кембрійських ущільнених) товщ, кількісної оцінки основних чинників формування та прогнозу можливих покладів вуглеводнів.

Досягненню поставленої мети сприяло вирішення наступних завдань:

- системний аналіз світового досвіду промислової газоносності нетрадиційних джерел;

- вивчення умов формування та особливостей геологічної будови палеозойських відкладів;
- вивчення літолого-фаціальних характеристик силурійських та кембрійських відкладів;
- визначення кількісних величин основних чинників прогнозу покладів вуглеводнів палеозойських відкладів та порівняння їх з родовищами США та Канади;
- оцінка прогнозних ресурсів вуглеводнів нетрадиційних джерел;
- визначення геолого-екологічних умов освоєння вуглеводнів;
- обґрунтування перспективних зон та першочергових ділянок;
- обґрунтування спеціального комплексу геологорозвідувальних робіт на сланцеві вуглеводні на початковій стадії вивчення.

Об'єкт дослідження - палеозойські (силурійські сланцеві та кембрійські ущільнені) відклади Волино-Поділля.

Предмет дослідження - наявна геолого-геофізична інформація, дані проявів нафтогазоносності, термобаричні умови, лабораторні аналізи зразків кернавого матеріалу та органічної речовини палеозойських відкладів території досліджень.

Методи досліджень. При розв'язанні поставлених задач використовувалися різноманітні геологічні, геофізичні, геохімічні, аналітичні методи серед яких:

- аналітичний з вивчення досвіду освоєння ресурсів нетрадиційних вуглеводнів, у першу чергу газу у сланцях та ущільнених породах, на діючих об'єктах нафтогазоносних басейнів США та Канади;
- структурно-тектонічний, порівняльно-геологічний аналіз;
- лабораторні петрофізичні, геохімічні, спектральні аналізи візців кернавого матеріалу та органічної речовини;
- системний аналіз геологічних, петрофізичних, геохімічних, термобаричних, літолого-петрографічних властивостей досліджуваних порід та комплексів;
- узагальнення геолого-геофізичних матеріалів для уточнення геологічної будови території;
- геологічної аналогії для виявлення закономірностей, інтегрування отриманих результатів та прогнозування перспективних об'єктів.

Наукова новизна одержаних результатів.

Встановлені сприятливі геологічні передумови для формування покладів вуглеводнів у відкладах силурійських сланців та кембрійських ущільнених пісковиків.

Вперше науково обґрунтовані кількісні значення основних чинників прогнозу газоносності силурійських сланцевих та кембрійських ущільнених пісковиків.

Вперше чорносланцева товща силуру обґрунтовується як єдине потенційне родовище вуглеводнів площею близько 16 тис. км² з прогнозними видобувними ресурсами 1,8 трлн. м³.

Зона розвитку кембрійських пісковиків з незадовільними ємнісно-фільтраційними властивостями обґрунтовується як перспективна на газ ущільнених колекторів.

Визначено першочергові на нетрадиційні вуглеводні ділянки: Рава-Русько-Крехівську та Східно-Ліщинську в силурійських чорносланцевих і Перемишлянсько-Князівську у кембрійських відкладах.

Для оконтурювання газоперспективних сланцевих формацій запропоновано принципову схему комплексування 2D регіональної сейсмічної зйомки для великих глибин з різнотипними геоелектричними методами по мережі сейсмопрофілів, атмогеохімічної, гравіметричної зйомок тощо.

Практичне значення одержаних результатів полягає в:

- узагальненні наявної та створенні нової аналітичної геолого-геофізичної, геохімічної, термобаричної та іншої інформації, яка характеризує сьогодинішній стан вивченості чорносланцевих силурійських та ущільнених кембрійських товщ;
- визначенні Волино-Поділля як однієї із перспективних територій України на нетрадиційні джерела вуглеводнів;
- обґрунтуванні перспектив газоносності нових стратиграфічних комплексів - силурійських сланцевих та кембрійських ущільнених відкладів;
- кількісній оцінці прогнозних ресурсів сланцевого газу силурійських і кембрійських ущільнених відкладів та значному нарощуванні сировинної бази видобутку вуглеводнів України;
- виділенні перспективних зон та першочергових ділянок для проведення геологорозвідувальних робіт;
- визначенні геолого-екологічних умов освоєння ресурсів нетрадиційних вуглеводнів Волино-Поділля;
- обґрунтуванні спеціального комплексу геологорозвідувальних робіт для оконтурювання перспективних сланцевих формацій.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та висновки розроблені і обґрунтовані здобувачем особисто на підставі системного вивчення відомих родовищ нетрадиційних джерел вуглеводнів, аналізу геологічної будови території досліджень, узагальнення, систематизації та лабораторних досліджень петрографічних, петрофізичних, геохімічних, мінералогічних, термобаричних, катагенетичних параметрів порід і органічної речовини. Особистий внесок у наукові роботи, що написані у співавторстві, зазначено у списку опублікованих праць за темою дисертації.

Апробація результатів дослідження. Основні положення дисертації доповідались на: міжнародній науковій конференції «Нетрадиційні джерела вуглеводнів в Україні: пошуки, розвідка, перспективи» (КНУ ім. Тараса Шевченка, 2013 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи нарощування ресурсної бази нафтогазової енергетики» 25-27.05.2016 р. у м. Ів.-Франківську, міжнародному геологічному форумі «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й

виробництво» 15-20.08.2016 р. у с. Коблеве Миколаївської обл., міжнародному геологічному форумі «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво» 18-23.06.2018 р. у м. Одесі, секції НТР геологорозвідувальних робіт на нафту і газ НАК «Нафтогаз України» у 2013 р.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць, з яких 1 монографія, 6 статей, з них 3 одноосібні. 5 статей входять до переліку фахових видань України, 2 статті у збірниках, що входять до переліку наукометричних баз, 1 стаття додатково відображає зміст дисертації, 4 публікації є матеріалами та тезами наукових конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків та списку літературних джерел (128 найменувань), містить 41 рисунок і 6 таблиць. Загальний обсяг дисертації 206 сторінок.

Автор висловлює щирю подяку науковому керівнику дисертаційної роботи д.г.н. Багрію І.Д., д.г.н. Євдошуку М.І. за цінні поради при виконанні роботи, д.г.н. професору Михайлову В.А., д.г.н. Крупському Ю.З, к.г.-м.н. Куровцю І.М. за підтримку та співпрацю при виконанні тематичних робіт у складі творчого колективу з вивчення перспектив нетрадиційних джерел вуглеводнів Західного регіону. Щиро вдячний співробітникам відділу геоекології та пошукових досліджень ІГН НАН України, споріднених підприємств і організацій, що приймали участь в отриманні геолого-геофізичних даних, їх обробки та аналізу.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Розділ 1. Стан вивченості та проблеми прогнозування промислової нафтогазоносності нетрадиційних джерел. Сучасні технології зробили реальними промисловий видобуток нетрадиційних джерел вуглеводнів, зокрема, сланцевого газу, щільного газу, метану вугільних пластів тощо.

Поклади сланцевого газу є унікальною вуглеводневою системою, в якій та сама формація є одночасно і материнською породою, і породую-колектором, і породою-покришкою. Газ скупчується в порах та адсорбується органічною речовиною (ОР). Він складається переважно з метану і його гомологів з домішками вуглекислого газу, азоту, сірководню, водню, гелію, радону тощо. Скупчення газу мають значні геологічні ресурси, але дуже низький коефіцієнт вилучення (0,08-0,2). Бурхливий розвиток геологічної парадигми щодо нетрадиційних джерел вуглеводнів та технологій їх освоєння сприяють відкриттю нових родовищ в освоєних нафтогазоносних басейнах.

Про газоносність сланців, збагачених ОР, було відомо ще в ХІХ столітті. Перша свердловина з промисловим припливом газу з девонських сланців була пробурена у 1821 р. в штаті Новий Йорк. Газ з девонських сланців Аппалачів видобувався також в штатах Західна Вірджинія, Кентуккі і Пенсильванія. З 1880 р. газ видобували з родовища Біг-Сенді-Філд із тисяч неглибоких вертикальних свердловин, з яких отримували невеликі дебіти. Відкриття промислових покладів у сланцевих товщах стало можливим

завдяки застосуванню гідравлічної стимуляції в свердловинах для видобування газу зі сланців, яка вперше випробувана в кінці 1950-х років. У 70-х роках ХХ століття в США виявлено крупні сланцеві структури: Барнет, Хейнсвілл, Фейетвілл і Марселлус. Вони охоплюють десятки тисяч квадратних кілометрів і вміщують гігантські запаси газу. На початку 80-х рр. розпочато видобуток газу зі сланців родовищ Огайо, Антрим, Барнет, Нью-Олбані, Левіс в незначних обсягах за допомогою вертикальних свердловин. Впровадження в 2002-2003 рр. компанією Шлюмберже технології буріння горизонтальних свердловин з використанням багатоступеневих гідророзривів пластів дало значний поштовх для видобування сланцевого газу. За сейсмічним моделювання 3D GEO об'єктів та впровадженням цих технологій видобування газу і нафти з глинистих порід проводиться у багатьох регіонах світу. Зокрема, із сланців в США видобувається більше 60 млрд. м³ газу щорічно з понад 40 000 свердловин більше як з 20 покладів.

З метою зниження собівартості сланцевого газу технології для видобутку продовжують вдосконалюватись. Широко впроваджений так званий заводський метод. Для значного підвищення геолого-екологічної безпеки в США впроваджуються нові технології без використання значної кількості води, зокрема, плазменно-імпульсний розрив пласта (PPT) з використанням енергії у 30-50 тис. кВт. Слід зазначити, що метод розроблений в Україні (Кучернюк А.В., 2001).

На території Польщі на продовженні Волино-Подільського сланцевого басейну вивчення цієї проблеми займались польські дослідники Poprawa P., Kiersnowski H., Klimuszko E., Rutkowski M. та інші. За їх даними станом на 2016 рік пробурені понад 70 цільових свердловин з метою вивчення можливостей промислового видобування сланцевого газу, в 17 з яких проведено багатоступеневі гідророзриви. Близько 10 свердловин знаходяться в експлуатації.

Найбільші успіхи та обсяги відкритої геологічної інформації про промислову нафтогазоносність ущільнених порід отримані на території Північної Америки: в Анадарко, Грін-Рівер, Сан-Хуан, Денвер, Піанс, Уїллістон, Східнотехаському, Північнолуїзіанському басейнах (Spencer C.W., Masters I.A., B.E.Law, Rice D.D., Al-Shaieb Z. та ін.). На основі аналізу наявних матеріалів нами визначені основні чинники, які можна використовувати для прогнозування неконвекційних покладів, а саме:

- скупчення газу в ущільнених породах не пов'язуються з традиційними структурними, літолого-стратиграфічними чи іншими локальними пастками, а мають регіональне і зональне поширення, займаючи значні площі (до 8 тис. км² і більше). В їх межах можуть знаходитися і окремі локальні пастки з традиційними покладами;
- газ ущільнених порід поширений у породах зі ступенем катагенезу (термальною зрілістю) в значних межах – 0,7-3,0 R_o (МК₂ –АК₁);
- резервуари газу в ущільнених колекторах здебільшого знаходяться у зонах аномально високого або аномально низького пластових тисків;

- відклади, що містять газ у щільних колекторах, характеризуються маловодністю розрізу продуктивної товщі. Внаслідок низької проникності порід газ не може переміщуватися за рахунок гравітації, тому його скупчення не мають традиційних газо водяних контактів і носять зональний характер;

- флюїдоупори, що екранують скупчення газу щільних колекторів, у більшості випадків не пов'язані з літолого-стратиграфічними границями, а зумовлені поєднанням капілярних сил з факторами катагенетичних (вторинних) процесів, що вплинули на фільтраційно-ємнісні властивості порід. За Лукіним О.Ю. (1997) практично всі колектори, що зустрічаються на стадіях вище МК₂, не є первинними;

- відклади щільних колекторів найбільш часто представлені пісковиками та алевролітами пористістю переважно менше 5 % та проникністю менше 0,1 мД;

- резервуари скупчень газу пов'язані з поодинокими пластами або шаруватими товщами потужністю до 1 000 м і більше;

- видобувається газ на ділянках з покращеними колекторами переважно із застосуванням методів інтенсифікації.

Важливою особливістю щільних колекторів є труднощі з визначенням параметрів за даними ГДС, що значною мірою зумовлено наявністю в них як породотворних, так і порозаповнювальних глин.

До нетрадиційних джерел відноситься і газ метан вугільних родовищ, обсяги видобутку якого у світі швидко нарощуються. Це джерело теж присутнє у Львівсько-Волинському вугільному басейні (ЛВВБ), прогнозні видобувні ресурси газу метану якого сягають 20 млрд. м³. Найбільшим потенційним родовищем газу метану пластів бурого вугілля є Тягліве, Незначні регіональне поширення покладів вугілля по площі та ресурси газу метану роблять його непривабливих для видобування у промислових масштабах. Тому дослідженням цієї проблеми увага не приділялась.

В Україні проблема промислової газоносності нетрадиційних джерел вуглеводнів до недавнього часу майже не розглядалася і знаходиться на початковому етапі вивчення. Вперше вона піднята під час досліджень в ДДЗ так званого газу центральнобасейнового типу (Кабишев Б.П., 2000, Лукін О.Ю., 2005). Перші дослідження можливості виявлення скупчень сланцевого газу та прогнозна оцінка сланцевих басейнів України носили, в основному, загальний характер і, по суті, не обґрунтовувались фактичним матеріалом (Гурський Д.С., Михайлов В.А. і ін., 2010, Лукін О.Ю., 2010, Голуб П.С., Євдошук М.І. і ін., 2010). Цілеспрямовані системні геолого-тематичні дослідження проблеми нетрадиційних джерел вуглеводнів нафтогазоносних басейнів України, у т. ч. району досліджень, започатковано у НАК «Нафтогаз України» творчим колективом науковців та виробничників (Михайлов В.А., Крупський Ю.З., Сеньковський Ю.М., Куровець І.М., Вижва С.А., Чепіль П.М., Гладун В.В., Дригант Д.М. та ін., 2011-2013). Основні результати цих досліджень відображені у циклі монографій «Нетрадиційні джерела вуглеводнів України» (Михайлов В.А.

та ін., 2014). Проблемам нетрадиційних джерел вуглеводнів Західного регіону присвячені і роботи Федоришина Д.Д., Омельченка В.Г., Колтуна Ю.В., Орлова О.О., Локтева А.В., Шлапінського В.Є., Гнідця К.В. та ін. Виділені найбільш перспективні формації сланцевих та ущільнених порід, на зразках наявних кернів вивчені петрофізичні, геохімічні, літолого-фаціальні, мінералогічні властивості, вміст та катагенез ОР основних формацій, виконані наближені оцінки прогнозних ресурсів нетрадиційних вуглеводнів, визначені першочергові об'єкти та напрямки подальших досліджень.

В межах південно-західної окраїни Східно-Європейської платформи (СЄП) вирізняють основні тектонічні елементи: західний схил Українського щита (УЩ), Ковельський виступ фундаменту, Волино-Подільську монокліналь (ВПМ). У рифейському комплексі на півночі розміщений Волино-Поліський поперечний прогин, у середньопалеозойському - Львівський палеозойський прогин (ЛПП) за Крупським Ю.З. На формування палеозойського та протерозойського комплексів регіону важливу роль відіграло утворення зони Тейсейре-Торнквіста (ТТЗ). Вона простяглася від Північного до Чорного моря вздовж південно-західного краю СЄП. ТТЗ закладена під кінець силурійського періоду і відома також як Трансєвропейська шовна зона у вигляді асиметричного грабену шириною 50–75 км, який за особливостями будови та геологічної історії відносять до структури типу пасивно відмерлого авлакогену.

Виділяються основні розломи північно-східного (Ковельський, Володимир-Волинський, Луцький), північно-західного (Рава-Руський, Белз-Балучинський, Сокальський, Нововолинський), субмеридіонального (Радехів-Рогатинський, Рівненський) та субширотного простягання (Прип'ятський, Ратнівський). ВПМ має вигляд асиметричної западини, розширеної до 170 км на півночі та звуженої на півдні. Її фундамент роздрібнений вказаними розломами на різні за величиною та глибиною опускання блоки. Максимально опущені блоки розміщені між Володимир-Волинським та Луцьким розломами та приурочені до ЛПП.

Згідно з сучасними уявленнями тектоніки (Айзберг Р.Є.) у північно-західну частину окраїни СЄП між Белз-Балучинсько-Радехівським розломом та альпійською спорудою Карпат вклинена молода Західноєвропейська платформа. Основною особливістю є розвиток у ній сильно метаморфізованих і дислокованих потужних теригенних товщ вендсько-кембрійського та силурійсько-ранньодевонського віку.

ЛПП є середньодевонського-кам'яновугільною асиметричною депресією між Володимир-Волинським розломом та Подільським виступом, де вона перекриває Волино-Оршанську западину та ТТЗ, і вивопнена карбонатно-теригенними відкладами, максимальна товщина яких у її західній частині перевищує 2000 м.

У геологічній будові території беруть участь породи верхнього протерозою (рифей, венд), палеозою (кембрій, ордовик, силур, девон, карбон), мезозою (юра, крейда) та кайнозою (неоген). Вони залягають на

архей-протерозойському кристалічному фундаменті, який виходить на поверхню в області УЩ і занурюється в південно-західному напрямі до 8 км на межі з Передкарпатським прогином (ПП). Фундамент представлений гранітами, гранодіоритами, біотитовими, амфіболітовими сланцями та іншими виверженими й метаморфічними породами.

Осадовий комплекс починається з утворень рифейської (поліська серія) і вендської (волинська та валдайська серії) систем. Поліська серія товщиною до 1000 м на північному сході території складена червоноколірними дрібнозернистими пісковиками, алевролітами та аргілітами із пластовими інтрузіями основного складу. Волинська серія товщиною до 400 м представлена перешаруванням базальтів та туфів з пачкою строкатих пісковиків, гравелітів і конгломератів у підшві. Валдайська серія товщиною до 500 м складена чергуванням алевролітів, аргілітів і пісковиків.

Кембрійські відклади залягають на породах верхнього протерозою та представлені балтійською та бережківською серіями. В підшві першої вирізняють рівненські пісковики товщиною до 40 м, які перекриті глинистими породами. Бережківська серія характеризується чергуванням пісковиків, алевролітів й аргілітів. У західному напрямі фації змінюються від прибережно-морських піщаних до глибоководних алевроито-глинистих. Товщина комплексу зменшується від 900 м на заході території до виклинювання на УЩ, а глибина залягання – від кількох сотень до понад 4500 м.

Породи ордовику незгідно залягають на кембрійських відкладах і складені теригенно-карбонатними породами товщиною до 145 м. У середньому палеозої сформувалась потужна різнофаціальна товща силуру й девону, яка суттєво відрізняється від древніших та покривних відкладів і є відображенням процесів, пов'язаних з тектонічною приналежністю регіону до зони перикратонних опускань. Формування розрізу відбувалося протягом трьох етапів седиментації. Для першого (пізньоландоверсько-лудловського) характерна повільна седиментація різнофаціальних переважно шельфових осадів. На другий етап (пржидольський) припадає різка активізація тектонічних рухів на краю платформи та формування на ньому ТТЗ з інтенсивним компенсованим прогинанням, темпи осадонагромадження в якому були в 4-5 разів вищими порівняно зі східнішою частиною шельфу. Переважно сланцеві силурійські відклади найбільше розвинуті у центральній частині ЛПП та у північно-східній частині ПП, накладених на ТТЗ. Східна межа їх поширення збігається з Устилуг-Рогатинською зоною розломів, у якій переважають глинисто-карбонатні та карбонатні породи. Третій етап (ранньодевонський) вирізняється регресією палеобасейну, яка супроводжувалася його поступовим звуженням і обмілінням, зміщенням прибережних фацій на захід, збільшенням надходження теригенного матеріалу. Для нижньодевонських відкладів характерна незмінність товщин ізохронних

підрозділів в межах всієї площі поширення, що вказує на формування їх в умовах спокійної тектонічної обстановки.

Відклади середнього девону товщиною до 230 м представлені породами ейфельського і живетського ярусів у складі лопушанської світи з базальною пачкою пісковиків, алевролітів та аргілітів товщиною до 20 м, яка перекрита масивними доломіто-ангідритами товщиною до 40 м і слугує регіональним реперним горизонтом девону. Вище залягають підлипська, повчанська і золотолипська світи. Вони складені чергуванням вапняків, доломітів, пісковиків, алевролітів та аргілітів товщиною до 150 м. Завершується розріз середнього девону батятицькою світою товщиною до 35 м складеною, в основному, аргілітами з прошарками алевролітів і доломітів.

Верхній девон представлений карбонатними породами франського й фаменського ярусів товщиною до 1000 м, складених вапняками та доломітами. На північному сході у покрівлі pojawiaються пропластки аргілітів і пісковиків.

Карбон представлений турнейським, візейським, серпухівським та башкирським ярусами товщиною до 1100 м сіроколірних, внизу вапняково-теригенних, вище – теригенних порід з пропластками вугілля.

Відклади палеозою зі стратиграфічною і кутовою незгідністю перекриті мезозойськими породами товщиною до 1600 м та представлені теригенно-вапняковими породами юри і здебільшого теригенно-вапняковими – нижньої та середньої крейди.

Породи неогену простежуються нерівномірно, представлені пісками з прошарками глин невеликої товщини. Значно поширені четвертинні відклади товщиною 0,3-0,5 м.

Розділ 2. Геолого-промислова характеристика північно-західної окраїни Східно-Європейської платформи.

Умови формування кембрійських та силурійських відкладів. Кембрійські відклади розкриті 66 свердловинами у ЛПП, ПП, ВПМ та Ковельському виступі (КВ) фундаменту. Для цих регіонів характерна блокова будова з різними амплітудами вертикальних переміщень. У названих прогинах відклади кембрію залягають на глибинах від кількох сотень до понад 4500 м безпосередньо під ордовицькими. На КВ у піднятих структурах вони розкриті свердловинами на незначних глибинах під мезозойськими, силурійськими, ордовицькими та кам'яновугільними утвореннями. Седиментація відбувалася в єдиному басейні, глибина якого поступово збільшувалася у західному напрямі. У цьому ж напрямі змінюються фації – від прибережно-морських піщаних до алевроито-глинистих глибоководних. У найповніших розрізах західної частини відклади представлені трьома відділами. Нижньокембрійська частина складена дрібнозернистими пісковиками та алевролітами з проверстками аргілітів. До середнього-верхнього кембрію входить нерозчленована товща дрібнозернистих кварцових пісковиків з проверстками алевролітів та аргілітів, кількість і

товщина яких збільшуються у західному напрямі. У прибережній східній смузі у розрізах переважають фації дюнних пісків, у західній (у ЛПП та ПП) – алеврито-глинисті фації зануреної частини шельфу.

У розрізі кембрію виділяється декілька горизонтів пісковиків. Пластиколектори екрануються пачками глинистих порід у середині кембрійської товщі, а в її покрівлі стратиграфічно зрізані пласти – глинистими відкладами силуру. Пісковики у східній частині регіону середньо- і крупнозернисті. На захід зменшуються кременистість і частка піщаних порід. Пісковики ущільнюються, хлоритизуються, окварцовуються та глинизуються. Ці зміни відбуваються при переході через Устилуго-Рогатинську флексурно-скидову зону. Виділяються фаціальні зони північно-західного простягання:

- із задовільними фільтраційно-ємнісними параметрами (середні пористість більше 10 %, проникність більше 5 мД) охоплює північно-східну та південну частини ВПМ та КВ;

- з критичними значеннями фільтраційно-ємнісних параметрів (середні пористість менше 7-9 %, проникність – 2-5 мД) смугою шириною у 10-15 км розмежовує зони задовільних та незадовільних колекторських властивостей;

- із незадовільними фільтраційно-ємнісними параметрами (середні пористість менше 5-6 %, проникність – 0,5 мД) охоплює територію південно-західної частини Волино-Поділля.

Формування й склад фацій силуру залежали здебільшого від розвитку органічного світу і, в першу чергу, скелетних організмів. Рифобудівні організми не тільки були постачальниками великої кількості детритового матеріалу при формуванні мілинних фацій, а й створювали побудови біогермових чи рифових масивів. Вони відмежовували східну зону з лагунним седиментогенезом від західного відкритого басейну. Розрізи силуру складені мінливими поліфаціальними товщами лагунних, мілинних, відкритошельфових та схилових утворень басейну. Ці товщі утворюють фаціальні зони субмеридіонального простягання.

Вміст карбонатів у силурійських відкладах різко зменшується у південно-західному напрямі. Тут виділяються: карбонатна платформа, зона переверстування аргілітів і карбонатів та зона поширення потужної товщі глибоководних сланців. Зона розвитку рифогенних утворень має досить складну будову. Характерна її ознака – наявність потужних товщ вторинних доломітів, доломітизованих вапняків з численними рештками рифобудівних організмів. Передрифові фації поширені у дещо ширшій смузі і складені масивними органогенно-детритовими вапняками з вклиненими в них глинистими вапняками та біогермами. Зарифові – представлені доломітизованими продуктами руйнування рифів, що чергуються з лагунними відкладами. Поступові переходи по латералі між фаціями і незначні зміни товщин ізохронних відкладів вказують на те, що шельф силурійського палеобасейну протягом венлоцького та більшої частини лудловського віків був досить пологим і нахил не перевищував 1-2°. Він

складений потужними товщами різнофаціальних сланців, збагачених ОР (Львівсько-Коломийська структурно-фаціальна зона (СФЗ)). Материковий схил палеобасейну геоморфологічно оформився під кінець лудловського віку. Для нього характерне значне збільшення товщин стратонів у західному напрямі. Глибина досилурійської поверхні зростає у західному напрямі до 4000 м.

Типовий розріз глибоководних морських теригенних відкладів силуру розкритий параметричною свердловиною Ліщинська 1, пробуреною в інтервалі 2613-3537 м із значним відбором керна. На колекції цих кернів сланців вперше проведено детальні мінералого-петрографічні, петрофізичні, структурно-текстурні, геохімічні дослідження з метою обґрунтування геологічних передумов та чинників прогнозу їх газонасиченості.

Нафтогазонасиченість. Цілеспрямованих робіт на нетрадиційні вуглеводні у попередні роки на Волино-Поділлі, як і в Україні, не проводилось. Відомий єдиний випадок випробування силурійських сланців: у свердловині Володимирівська 1 в процесі буріння за допомогою випробувача пластів на трубах із інтервалу 1807-1862 м отримано приплив газу розрахунковим дебітом 1,4 тис. м³/добу. Ступінь освоєння початкових ресурсів традиційних джерел вуглеводнів Волино-Поділля менше 10%, а нетрадиційних – 0%, що свідчить про початковий етап вивченості регіону. В межах Волино-Подільської нафтогазонасної області відкриті два традиційні газові родовища у девонських відкладах: Великомоствівське у базальних пісковиках та Локачинське, де виявлено 7 покладів у базальних та карбонатних пісковиках. В Люблінській западині на території Польщі відкрите родовище газу Цецежин у доломітах верхнього девону, а ближче до кордону з Україною – газове родовище Камарув у відкладах середнього девону. Зафіксовано ряд проявів вуглеводнів. Зокрема, припливи нафти до 250 л/добу отримані у свердловинах Павлівська 1 та Марковицьких 1, 2. За даними ГДС виділені нафтогазоперспективні пласти у свердловинах Загорівська 1, Павлівських 2, 3. В свердловині Тихотин 3 із відкладів середнього девону піднятий kern пісковикау просякнутий нафтою. В процесі буріння відмічені газо- та нафтопрояви на площах Батятичі, Кам'янка-Бузька, Луцька, Олесько-Золочів, Ренів.

В силурійських відкладах непромислові припливи нафти отримані при випробуванні карбонатних порід у свердловинах Локачинських 8-15. Нафтонасичені керни і плівка нафти в буровому розчині спостерігалися в свердловині Загорівська 1, в структурно-пошукових свердловинах на площах Марковичі, Горохів, Бережани, Коропець, Пишківці, Підгайці та інших. У свердловинах Локачинських 10, 15, 17 в процесі буріння отримані припливи пластових вод з розчиненим газом (96 % метану) і плівками нафти. У значній кількості піднятих кернів зафіксовані вуглеводневий запах, примазки та включення рідкої нафти в тріщинах і кавернах, інколи цілі інтервали кавернозних доломітів просякнуті легкою нафтою.

У кембрійських відкладах теж зафіксовані газонафтопрояви при бурінні свердловин Локачинської 7, Великомоствівської 30, Володимир-Волинської

1, Перемишлянських 1, 3, Літовезької 1 та ін. При бурінні свердловини Перемишлянська 1 газовим каротажем фіксувались газопрояви (до 33 % вуглеводневого газу при фоні 0,3-0,7 %), а в інтервалі 3475-3545 м фонтанування природного газу з вмістом метану близько 85 %. Однак, при випробуванні цього розрізу ущільнених пісковиків промислового припливу газу не отримано. В свердловині Володимир-Волинська 1 піднято 3,5 м піщано-алевролітових порід насичених легкою нафтою. Примазки нафти і нафтонасичені пісковики та вапняки виявлені в ряді картувальних свердловин. В розрізах 45 свердловин за даними ГДС виділені газоперспективні пласти. З більшості об'єктів припливів вуглеводнів не отримано. Зафіксовані також прямі виходи нафти в межах південного сходу ВПМ (села Колинківці і Луковиця Чернівецької області).

Постійні прояви газу метану фіксуються при видобуванні бурого вугілля із кам'яновугільних відкладів ЛВВБ. У багатьох свердловинах поблизу м. Белз із «сріблястих» пісковиків під вугленосною товщею теж зафіксовані прояви метану.

Все це свідчить про значні перспективи нафтогазоносності палеозойських відкладів Волино-Поділля. Перспективні горизонти, з яких не отримані промислові припливи, слід відносити до нетрадиційних джерел, так як вони приурочені до ущільнених порід, а їх розкриття та освоєння потребують сучасних технологій та інтенсифікацій.

Чинники прогнозування газоносності силурійських сланцевих товщ. Вивчення світового досвіду освоєння родовищ сланцевого газу свідчить, що чинників формування покладів промислового значення встановлено значну кількість, які характерні для більшості басейнів. Нами визначені кількісні значення основних чинників прогнозу газоносності сланцевих відкладів Волино-Поділля:

- вміст ОР є одним із ключових факторів в аспекті промислової газоносності сланцевих басейнів. Перспективним вважається мінімальний вміст ОР більше 0,5%. На відомих родовищах сланцевого газу він досить різноманітний – 1-6% на родовищі Монтней, до 20% на родовищі Алюм. В межах польської частини південно-західного схилу СЄП вміст ОР у чорносланцевих товщах силуру від 1 до 3%. Характерною рисою відкладів ранньопалеозойських седиментаційних басейнів західного схилу СЄП є діахронність залягання глинистих товщ, збагачених ОР: від нижнього кембрію на північному заході до раннього девону на південному сході. В палеозої Волино-Поділля чорні сланці розповсюджені в кембрії, силурі, нижньому девоні, карбоні. Нами на 147 пробах кернів із 12 свердловин із вищевказаних відкладів визначено вміст ОР від 0,2 до 2,27%. Найвищий вміст ОР встановлено в силурійських відкладах у межах Львівсько-Коломийської СФЗ – 0,9-2,27%;

- важливими чинниками є ступінь метаморфізму і термічна зрілість порід та ОР. Ступінь катагенетичного перетворення визначається відбивною здатністю вітриніту (% R_o). В проаналізованих родовищах середня величина R_o від 0.5-0.6 до 3-4 %. Наявність незначної кількості

зерен вітриніту в досліджуваних породах ускладнила оцінку ступеню їх перетворення. У нижньопалеозойських сланцях західного схилу ССП він зростає з північного сходу на південний захід, як і глибина їх залягання, і змінюється від 0,6 до 2,0%. Катагенез тут характеризується найсприятливішими для нафтогазоутворення етапами (МК₂-АК₁). В ТТЗ зафіксований вищий ступінь метаморфізму ОР, зумовлений теплом глибинного походження, яким прогрівалася літосфера під час рифтогенезу. В чорносланцевих відкладах палеозою (у тому числі силуру) території досліджень газ міг генеруватися одночасно в потужних, більше 150-250 м товщах, які сприяли і його збереженню;

- дослідженнями у свердловині Перемишлянська 1 досить чітко встановлено відсутність пари води, що свідчить про маловодність розрізу силурійської сланцевої товщі, яка є важливим чинником формування вуглеводневих систем;

- продуктивні площі поширення сланців родовищ значні. Для прикладу (тис. км²): Барнет – більше 13, Антрім – 20, Нью-Олбені – 70, Марселлус – 140 тощо. Зона розвитку чорних сланців силуру Волино-Поділля (Львівсько-Коломийська СФЗ) простягається на 320 км з північного заходу на південний схід площею більше 16 тис. км². Вона підтверджена більше як 30 свердловинами і приурочена до центральної частини ЛПП та північно-східної частини ПП, накладених на ТТЗ;

- глибини залягання продуктивних сланцевих товщ, освоєння яких є економічно вигідним при сьогоденішньому розвитку технологій, не більше 4000 м. На відомих родовищах вони складають: Ексфілд-Маєр – 20-30 м, Нью-Олбені – 150-600 м, Барнетт – 450-2000 м, Марселлус – 700-3000 м, Хайнсвілл – 3100-4000 м тощо. Силурійські сланці території досліджень теж характеризуються сприятливими глибинами – 2500-4000 м.;

- товщини сланцевих відкладів, що вміщують поклади газу промислового значення, складають від десятків до сотень метрів, зокрема Нью-Олбені – 15-30 м, Барнетт – 30-180 м, Мортіней – 300-500 м тощо. Перспективні товщі силуру Волино-Поділля характеризуються регіональним розвитком потужних пластів чорних сланців збагачених ОР, товщини яких змінюються від 32 м (свердловина Великомоствська 30), 90 м (свердловина Ліщинська 1) до 130 м (свердловина Рава-Руська 1);

- осаконакопичення сланцевих товщ території досліджень, як і відомих родовищ, відбувалось в умовах відкритого спокійного пологого силурійського палеобасейну, нахил якого не перевищував 1-2° на значних площах, про що свідчать невеликі зміни товщин ізохронних відкладів, поступові переходи по латералі між фаціями, горизонтальна шаруватість сланців, їх пелітова текстура тощо;

- фаціальний та літологічний склад сланцевих товщ відомих родовищ – це, в основному, тонкозернисті сланцюваті темнозбарвлені за рахунок ОР породи з пластинчастоподібними глинистими мінералами (сланці, чорні сланці, горючі сланці, рідше алевроліти). Силурійські сланцеві відклади території досліджень представлені темно-сірими, майже чорними

аргілітами грубо- і тонкошаруватими, міцними, місцями алевритистими з граптолітами по нашаруваннях, зрідка трохи карбонатними;

- більшість відомих промислових родовищ нетрадиційних вуглеводнів приурочені до сланцевих товщ палеозойського віку – від кембрійського (родовище Алєм) до юрського (Барнет, Нордек і Фенні), зовсім рідко – до кайнозойського (Грін-Рівер, Шахеджі – еоцен). Основні перспективи газонасності Волино-Поділля пов'язуються зі сланцями силуру;

- ємнісно-фільтраційні властивості сланцевих товщ родовищ невисокі. Загальна пористість низька і не перевищує 2-10%. Так, на родовищі Файєтвілл – 2-8%, Барнет – 4-5%, Марселлус – 10%. Петрофізичні властивості досліджуваної товщі вивчалися нами на наявних зразках кернів із 4-х свердловин: Ліщинської 1 (91 зразок), Рава-Руської 1 (45 зразків), Крехівської 1 (41 зразок), Давиденівської 1 (9 зразків). Загальна пористість силурійських сланців не перевищує 4,5% при проникності не більше 0,1 мД. В межах суміжного Люблінського басейну пористість сланців складає більше 4%;

- сланці відомих родовищ характеризуються підвищеною кількістю кварцу і піриту, а також мікроелементів Cu, Al, Cd, As, Pb, Co, Cr, N, V, Zn, U, Th, Ra, Rn тощо. За даними спектрального аналізу 44 проб сланців із свердловини Ліщинська 1 зафіксовано вміст майже всіх вказаних компонентів, у тому числі піриту, який у цілому відповідає фоновому;

- важливою особливістю проаналізованих родовищ є наявність тріщинуватості сланців, які можуть бути приурочені до зон розвитку глибинних розломів. На території досліджень вона теж отримала значний розвиток;

- встановлено високий вміст кремнезему в сланцях нижнього палеозою території досліджень – 48,1-57,1%, що має важливе значення для ефективного проведення гідророзривів пластів.

Чинники прогнозування газонасності кембрійських ущільнених пісковиків. Їх перспективи нами пов'язуються із зоною розповсюдження порід з незадовільними фільтраційно-ємнісними властивостями (середня пористість менше 5-6 %, проникність – 0,5 мД). Для них нами визначені основні кількісні значення чинників прогнозування скупчень газу, а саме:

- їх площа має регіональне поширення – більше 6 тис. км² і не пов'язується з традиційними структурними, літолого-стратиграфічними чи іншими локальними пастками. В її межах також можуть знаходитися зони з покращеними колекторами і окремі локальні пастки з традиційними газовими покладами;

- катагенетична перетвореність ОР та ущільнених пісковиків знаходиться на стадії МК₄-АК₁ (R₀ – 1,35-2,0) і характерна для формування вуглеводневого газу, вторинної тріщинної пористості та проникності;

- максимальні глибини залягання перспективних ущільнених колекторів не перевищують 4000 м і є економічно та технологічно прийнятними для залучення сучасних технологій освоєння ресурсів газу;

- товщини піщано-алевритових відкладів у виділеній зоні від 50 до 110 м і більше є важливим чинником для акумулювання значних ресурсів газу;
- наявність зони маловодності, яка є сприятливим чинником для перспектив газонасності в ущільнених пісковиках, досить чітко встановлена у свердловині Перемишлянська 1.

Розділ 3. Перспективи пошуків покладів вуглеводнів нетрадиційних джерел.

Прогнозні перспективи нафтогазоносності силурійських товщ. Встановлені кількісні чинники прогнозу вуглеводнів та зіставлення їх з відомими родовищами Північної Америки однозначно свідчать про високі перспективи газонасності чорносланцевих товщ палеозою. Серед них найбільші перспективи нами пов'язуються з силурійськими чорносланцевими відкладами, де газ міг генеруватися в потужних товщах (150-250 м), які сприяли і його збереженню. Це дозволило вперше однозначно розглядати чорносланцеву товщу силуру (Львівсько-Коломийська СФЗ) як єдине потенційне родовище газу, де існували найсприятливіші умови для акумулювання достатньої кількості ОР (до 2,27%) та перетворення її у газ (стадії катагенезу МК₂-АК₁). Його зона розвитку охоплює значну територію площею близько 16 тис.км². Вона підтверджена більше як 30 свердловинами і приурочена до центральної частини ЛПП та північно-східної частини ПП, накладених на ТТЗ.

Перспективи нафтогазоносності кембрійських ущільнених пісковиків. На підставі визначених кількісних значень чинників прогнозування скупчень газу в ущільнених породах нами доведено, що найбільш перспективним стратиграфічним комплексом для пошуку газу в щільних породах на Волино-Поділлі є відклади кембрію. Перспективи пов'язуються саме із зоною розповсюдження порід з незадовільними ємнісно-фільтраційними властивостями (середні пористість менше 5-6 %, проникність – 0,5 мД), яка приурочена до гідрохімічної зони застійного водообміну, та займає південно-західну частину ССП. Загальна площа перспективної зони складає більше 6 тис. км².

Розділ 4. Прогнозування та геолого-промислова оцінка вуглеводневих ресурсів.

Вуглеводневі ресурси силурійських товщ та кембрійських ущільнених пісковиків.

Геологічні прогнозні ресурси газу чорносланцевих порід силуру Волино-Поділля оцінені за методикою геологічної служби США для слабовивчених територій (через газовміст вагової одиниці породи родовища-аналога, в якості якого прийнято Хайнсвілл) у 12 трлн. м³, а мінімальні видобувні при коефіцієнті вилучення 0,15 близько 1,8 трлн. м³.

Перспективи промислової газонасності ущільнених кембрійських відкладів пов'язуються із зоною розвитку порід з незадовільними ємнісно-фільтраційними властивостями на площі більше 6 тис. км² (стадії катагенезу

МК₃-АК₁). Прогнозні видобувні ресурси газу зони нами оцінені у 340 млрд. м³.

Газ нетрадиційних джерел є важковидобувним, а роботи високовитратними. Однак, значні ресурси вуглеводнів і швидко прогресуючі технології освоєння роблять їх досить привабливими та рентабельними.

Оскільки названі нетрадиційні джерела характеризуються близькими гірничо-геологічними умовами залягання і потребують сучасних і практично однакових технологій розкриття та видобування, то переваги першочерговості їх освоєння зв'язані у першу чергу з величиною прогнозних видобувних ресурсів. Виходячи з цього, більш пріоритетними для освоєння є чорносланцеві відклади силуру. Кембрійські ущільнені пісковики можуть розглядатися як самостійний, так і супутній напрямок робіт при освоєнні вуглеводневих ресурсів силурійських сланців, оскільки площі їх поширення в структурних планах, в основному, перекриваються, так і традиційних джерел вуглеводнів.

Геолого-екологічні умови освоєння вуглеводневого потенціалу. Територія відноситься до районів з високим ступенем техногенного навантаження на геологічне середовище із-за інтенсивного освоєння природних ресурсів. Перспективні території на нетрадиційні джерела вуглеводнів розташовані у густонаселених районах з інтенсивним землеробством. Негативним чинником для освоєння цих ресурсів вуглеводнів також є складна геодинамічна ситуація території. Це, зокрема, тектонічні лініаменти різного рангу і пов'язані з ними зони тріщинуватості та дроблення, що створюють ділянки крізьформаційної проникності, які при гідророзривах пластів на об'єктах видобування газу нетрадиційних джерел можуть спричинити екологічно небезпечні явища: проникнення у верхні водоносні горизонти і на поверхню технологічних розчинів і газу, а також відчутні втрати вуглеводнів. За результатами аналізу тектонічних порушень та інших природних каналів дегазації і міграції та оцінкою їх проникності у природних умовах нами виділено екологічно небезпечні ділянки. Вибір об'єктів для освоєння ресурсів нетрадиційних вуглеводнів пропонується проводити з обов'язковим врахуванням цих ділянок.

Перспективні геолого-промислові зони та ділянки території досліджень. Вперше Львівсько-Коломийська СФЗ розвитку силурійських сланцевих відкладів з найвищим вмістом ОР – 0,9-2,27% прогнозується нами як єдине потенційне родовище газу. В межах цієї зони для подальшого вивчення виділено Рава-Русько-Крехівську та Східно-Ліщинську ділянки умовно обмежені площами у 1000 км². Ділянки вибирались з умовою наявності у їх межах пробурених свердловин, де отримано максимум геолого-геофізичної інформації, та з врахуванням виділених ділянок екологічної небезпеки.

Рава-Русько-Крехівська ділянка розташована в межах північного заходу Волино-Поділля. В її межах пробурені свердловини: опорна Рава-Руська 1 та параметрична Крехів 1. У свердловині Рава-Руська 1 розкрита товщина

силурійських сланців перевищує 1720 м, яка пройдена з вибіркоvim відбором керну (більше 375 м). За отриманими нами лабораторними даними на 75 зразках найбільший вміст ОР (0,5-1,1%, у деяких зразках до 1,53%) мають відклади лудловського ярусу силуру в інтервалі глибин 2100-2650 м. Мінімальна перспективна товщина сланців більше 80 м. Перспективність ділянки підтверджується газопроявами при бурінні свердловини Крехів 1 в силурійських сланцях. Аномальний вміст вуглеводневого газу в розчині досягав 70%. Прогнозні видобувні ресурси газу нами оцінені у 146 млрд. м³.

Східно-Ліщинська ділянка розташована південно-східніше Рава-Русько-Крехівської у зоні менш глибокого регіонального занурення силурійської сланцевої товщі. На ділянці пробурена параметрична свердловина Ліщинська 1, яка розкрила типовий розріз глибоководних морських теригенних відкладів силуру зі значними обсягами відібраного керну, що дозволило для 51 зразків виконати структурно-текстурні, мінералого-петрографічні, петрофізичні та геохімічні дослідження. Абсолютна пористість сланців 0,2-4,1% при середній 1,5% (45 зразків), відкрита пористість – 0,33-4,15%, проникність – менше 0,01 мД. Мінімальна перспективна товщина сланців (з вмістом ОР вище 1%) більше 130 м. За результатами термічного аналізу 21 проби кернів встановлено вміст ОР від 0,75 до 2,27% при середньому 1,22%, що свідчить про достатній вміст для генерації газу у силурійських відкладах на стадіях катагенезу МК₂-АК₁. У складі летких компонентів з флюїдних включень у мінералах і закритих пор сланців досліджених інтервалів за розрізом свердловини Ліщинська 1 домінує метан (до 100 %). Проте, на глибших горизонтах появляється етан, діоксид вуглецю, а також азот.

Встановлено також відсутність пари води, що свідчить про маловодність розрізу сланцевої товщі, яка є важливим чинником формування вуглеводневих систем. Прогнозні видобувні ресурси газу ділянки оцінені у 98 млрд. м³.

В межах перспективної зони газонасності ущільнених кембрійських пісковиків виділена першочергова Князівсько-Перемишлянська ділянка площею у 1250 км² з прогнозними видобувними ресурсами газу близько 200 млрд. м³. Високі перспективи цієї ділянки підтверджуються також інтенсивними газопроявами при бурінні кембрійських ущільнених пісковиків у свердловинах Перемишлянських 1,3, Велико-Мостівської 30, розташованих у її межах.

Розділ 5. Спеціальний комплекс геологорозвідувальних робіт на нетрадиційні вуглеводневі джерела. Сланцева формація силуру розглядається як потенційний продуктивний комплекс (родовище), що спонукає до видозміни комплексу геологорозвідувальних робіт для оконтурювання перспективних сланцевих формацій уже на початковому етапі вивчення. Запропонована методологія комплексування 2D регіональної сейсмічної зйомки для великих глибин (забезпечує наддовгі

системи спостережень – до 12 км, збільшений час запису сейсмічних сигналів – 12 сек., невеликі відстані між каналами записів – 25 м, збільшену кратність перекриття – 480 тощо), з різнотипними геоелектричними, електромагнітними та іншими методами по профілях сітки регіональної сейсморозвідки, а також крупномасштабних та при необхідності деталізаційних зйомок (атмогеохімічної, гравіметричної тощо). Запропоновано систему із 2-х поздовжніх профілів північно-західного та 5 поперечних південно-західного простягання загальною протяжністю близько 1,5 тис. пог. км.

Висновки

1. Найважливішими результатами роботи в теоретичному, експериментальному та науково-практичному аспектах є проведені на основі аналізу світового та вітчизняного досвіду комплексні дослідження успішного освоєння нетрадиційних вуглеводневих джерел, які дозволили встановити чіткі уявлення про їх природу, особливості генерації, міграції та накопичення в осадових товщах Волино-Поділля, де в попередні роки такі цілеспрямовані геологорозвідувальні роботи не проводились:

- відкриті Великомоствівське та Локачівське традиційні промислові газові родовища та численні прояви вуглеводнів у девонських, силурійських та кембрійських відкладах Волино-Подільської нафтогазоносною області свідчать про значні перспективи її промислової нафтогазоносності;

- науково обґрунтовані сприятливі геолого-промислові передумови для формування покладів вуглеводнів у відкладах силурійських сланців та кембрійських ущільнених пісковиків;

- визначені кількісні значення основних чинників формування та прогнозу газонасності (вміст ОР, ступінь метаморфізму і термічна зрілість порід та ОР, площа, глибини залягання та товщини перспективних товщ, ємнісно-фільтраційні властивості, фаціальний та літологічний склад, вміст мікроелементів, піриту, кремнезему, наявність тріщинуватості тощо) силурійських сланців та кембрійських ущільнених пісковиків;

- науково обґрунтовано, що найсприятливіші умови для акумулювання достатньої кількості ОР (до 2,27%) та перетворення її у газ на стадії катагенезу МК₂-АК₁ у палеозої існували у силурійській сланцевій товщі. Чорносланцева товща силуру (Львівсько-Коломийська СФЗ) прогнозується як єдине потенційне родовище газу, що широкою смугою площею біля 16 тис. км² простягається з північного заходу на південний схід між кордонами Польщі та Румунії. Прогнозні видобувні ресурси чорносланцевих порід силуру СФЗ за коефіцієнта вилучення 0,15 складають близько 1,8 трлн. м³;

- за кількісними значеннями основних чинників прогнозу газонасності як першочергові виділено Рава-Русько-Крехівську та Східно-Ліщинську високopersпективні ділянки на газ у силурійській сланцевій товщі в межах Львівсько-Коломийської СФЗ;

- перспективи газонасності кембрійських відкладів пов'язуються з ущільненими пісковиками в межах літолого-фаціальної зони з незадовільними ємнісно-фільтраційними параметрами, загальна площа якої близько 6 тис. км² та оцінка прогнозних видобувних ресурсів газу близько 340 млрд. м³. В межах цієї зони виділена як першочергова Князівсько-Перемишлянська ділянка з покращеними колекторами площею 1250 км² з перспективними ресурсами близько 200 млрд. м³.

2. Науково обґрунтована проблема освоєння газу чорносланцевих відкладів силуру як найбільш пріоритетна для подальших досліджень нетрадиційних джерел вуглеводнів Волино-Поділля – нерозвіданий резерв нарощування видобутку вуглеводнів.

3. Кембрійські ущільнені пісковики можуть розглядатися як самостійний, так і супутній напрямок робіт при освоєнні вуглеводневих ресурсів силурійських сланців, оскільки площі їх поширення в структурних планах, в основному, перекриваються.

4. Для оконтурювання перспективних сланцевих формацій запропоновано спеціальний комплекс регіональної глибинної сейсмічної зйомки 2D з методами електророзвідки, визваної поляризації по профілях мережі сейсмопрофілів, геохімічної, гравімагнітної зйомок тощо. Запропонована система із 2-х поздовжніх профілів північно-західного та 5 поперечних профілів південно-західного простягання загальною протяжністю близько 1,5 тис. пог. км.

5. Визначено геолого-екологічні умови освоєння джерел нетрадиційних вуглеводнів Волино-Поділля та виділено екологічно небезпечні ділянки, які пропонується враховувати при виборі об'єктів.

Результати дисертаційних досліджень і реалізація практичних рекомендацій сприятимуть успішному та ефективному вирішенню проблеми комплексного освоєння всіх типів вуглеводневих джерел Волино-Поділля, що стане суттєвим внеском у нарощування видобутку вуглеводневої сировини в Україні.

ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.

Монографія:

1. Крупський Ю.З., Куровець І.М., Сеньковський Ю.М., Михайлов В.А., **Чепіль В.П.** та ін. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Книга II. Західний нафтогазоносний регіон. – Київ. Ніка-Центр, 2013. – 400 с.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

2. **Чепіль В.П.** Основні чинники формування та критерії промислової газонасності сланцевих відкладів силуру Волино-Поділля. Науковий вісник ІФНТУНГ, м. Ів.-Франківськ, – № 2, 2014. – С. 29-34.

3. І. Куровець, Ю. Крупський, **В. Чепіль**. Перспективи газонасності та прогнозні ресурси сланцевого газу породних комплексів силуру Волино-Поділля (Україна). Геологія і геохімія горючих корисних копалин, – № 1-2 (166-167), 2015. – Львів. – С.7-15 (Особистий внесок – обґрунтовано високі

перспективи промислової газоносності силурійських сланців, виконана оцінка їх ресурсів).

4. Багрій І.Д., **Чепіль В.П.**, Довбиш Н.С. Першочерговість освоєння нетрадиційних джерел вуглеводнів Волино-Поділля. Геологічний журнал, – № 4 (353), 2015. – С.99-104 (Особистий внесок – визначено силурійську сланцеву товщу як пріоритетну при освоєнні ресурсів газу нетрадиційних джерел вуглеводнів).

5. Багрій І.Д., **Чепіль В.П.**, Стародубець К.М. Проблеми екологічного моніторингу освоєння сланцевого газу на Волино-Поділлі. Геоінформатика, – № 3(55), 2015. – Київ. – С.41-44. (Особистий внесок – виділено екологічно небезпечні зони при виборі об'єктів освоєння ресурсів сланцевого газу).

6. **Чепіль В.П.** Особливості проведення геологорозвідувальних робіт на сланцевий газ Волино-Поділля на регіональній стадії вивчення. Мінеральні ресурси України, – № 2, 2019. – С.21-24.

7. **Чепіль В.П.** Нерозвіданий резерв нагромадження видобутку вуглеводнів на Волино-Поділлі. Нафтогазова галузь України, – № 2, 2019. – С.32-35.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Куровець І.М., Куровець С.С., Крупський Ю.З., Редько Л.Р., **Чепіль В.П.** Проблеми підрахунку запасів неконвенційних вуглеводнів. Матер. міжн. наук. конф. «Нетрадиційні джерела вуглеводнів в Україні: пошуки, розвідка, перспективи», 27-29.11.2013 р., – Київ. ТОВ «ЮніпексТрейд».2013. – С.157-158.

(Особистий внесок – проаналізовано основні проблеми обґрунтування параметрів для оцінки запасів та ресурсів)

9. **Чепіль В.П.** Перспективи газоносності ущільнених пісковиків Волино-Поділля. Матер. міжн. наук.-техн. конф. «Перспективи нагромадження ресурсної бази нафтогазової енергетики», 25-27.05.2016 р. – м. Ів.-Франківськ. – С.123-126.

10. **Чепіль В.П.** Нетрадиційні джерела вуглеводнів Волино-Поділля. Матер. міжн. геол. форуму «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво», 15-20.11.2016 р., – с. Коблеве. – С. 315-318.

11. **Чепіль В.П.** Перспективи пошуків покладів нетрадиційних джерел вуглеводнів на Волино-Поділлі. Матер. міжн. геол. форуму «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво», 18-23 червня 2018 р., – м. Одеса. – С. 325-326.

12. **Чепіль В.П.** Першочерговий комплекс геологорозвідувальних робіт на сланцевий газ Волино-Поділля на початковій стадії вивчення. Науковий вісник ІФНТУНГ, – м. Ів.-Франківськ, – № 2(39), 2015. – С.28-32.

АНОТАЦІЯ

Чепіль В.П. Геологічні умови формування та освоєння нетрадиційних вуглеводневих джерел Волино-Поділля. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.17 «Геологія нафти і газу». – Інститут геологічних наук Національної академії наук України, Київ, 2019.

Дисертаційна робота присвячена вивченню особливостей геологічної будови силурійських і кембрійських відкладів Волино-Поділля, умов їх формування, геологічних, геохімічних, термобаричних і інших кількісних факторів прогнозування перспектив промислової газоносності силурійських сланцевих товщ і кембрійських ущільнених пісковиків. Доведено, що силурійські черносланцеві відклади є найбільш перспективними на газові поклади. Визначено перспективи газоносності силурійських сланців і кембрійських ущільнених пісковиків. Виконано оцінку прогнозних ресурсів газу черносланцевих силурійських відкладів району досліджень. Запропоновано методологію проведення геологорозвідувальних робіт для оконтурювання нафтогазоперспективних сланцевих формацій на початковій стадії геологічного вивчення перспективних слабовивчених територій комплексуванням регіональної сейсморозвідки з різними модифікаціями геоелектричних, геохімічних та інших методів по сітці регіональних профілів. Обґрунтовані пріоритети освоєння прогнозних ресурсів нетрадиційних вуглеводнів.

Ключові слова: Волино-Поділля, черносланцеві відклади, ущільнені пісковики, сланцевий газ, ресурси газу.

АНОТАЦИЯ

Чепиль В.П. Геологические условия формирования и освоения нетрадиционных углеводородных источников Волыно-Подолья. — Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук (доктора философии) по специальности 04.00.17 «Геология нефти и газа». — Институт геологических наук Национальной академии наук Украины, Киев, 2019.

Диссертационная работа посвящена изучению особенностей геологического строения силурийских и кембрийских отложений Волыно-Подолья, условий их формирования, геологических, геохимических, термобарических и других количественных факторов прогнозирования перспектив промышленной газоносности силурийских сланцевых толщ и кембрийских уплотненных песчаников. Доказано, что силурийские черносланцевые отложения являются наиболее перспективными на газовые залежи. Определены перспективы газоносности силурийских сланцев и кембрийских уплотненных песчаников. Выполнена оценка прогнозных ресурсов газа черносланцевых отложений района исследований. Предложена методология проведения геологоразведочных работ для оконтуривания нефтегазоперспективных сланцевых формаций на начальной стадии геологического изучения перспективных слабо изученных территорий комплексированием региональной сейсморозведки с различными модификациями геоэлектрических, геохимических и других методов по сетке региональных профилей. Обоснованы приоритеты освоения прогнозных ресурсов нетрадиционных углеводородов.

Ключевые слова: Вольно-Подолье, черносланцевые отложения, уплотненные песчаники, сланцевый газ, ресурсы газа.

ABSTRACT

Chepil V.P. Geological conditions of formation and exploration of unconventional hydrocarbon sources of Volyn-Podillya. – Manuscript.

Thesis for acquisition of scientific degree of candidate of geological sciences (Ph. D.) on a specialty 04.00.17 – «Oil and gas geology». – Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2019.

The thesis is devoted to the study of the prospects of industrial oil and gas bearing non-traditional sources of hydrocarbons of Volyn-Podillya. The most important results of the research carried out in the theoretical and scientific-practical aspects are the establishment of clear representations about the nature of non-traditional hydrocarbon sources, the peculiarities of generation, migration and accumulation in the sedimentary strata of Volyn-Podillya, where previously no such purposeful work was carried out. The peculiarities of the geological structure of the Silurian and Cambrian strata of the study area, the conditions of their formation, geological, geochemical, and other quantitative factors for predicting the prospects of industrial gas bearing of Silurian shales and Cambrian compacted sandstones were studied. The favorable geological and industrial preconditions for the formation of hydrocarbons of Silurian shales and Cambrian compacted sandstone deposits were scientifically substantiated.

Based on systematic analysis of known shale gas deposits of different oil and gas basins of the world, quantitative values of the main factors of formation and prediction of industrial gas content of Silurian shales of Volyn-Podillya are determined:

- basin area – more than 10 thousand km²;
- depth of productive thicknesses – not more than 3-4 thousand m;
- thickness of shale deposits – more than 15 m;
- organic matter bearing – more than 1-3%;
- the stage of metamorphism (% R₀) – 1.5-2.0%;
- thermal maturity of enriched organic matter – MK₂-AK₂;
- porosity – more than 4%, permeability – more than 0,1 mD;
- sedimentation conditions are mainly low-energy and thalassic;
- age of perspective thicknesses – mainly Paleozoic;
- the presence of a fracture system;
- high silica bearing.

The established quantitative factors for the prediction of hydrocarbons and their comparison with the well-known deposits of North America testify to the high prospects of gas bearing of the black-shale Paleozoic strata of Volyn-Podillya. Among these, the greatest prospects are associated with the black-shale deposits of the Upper Silurian. They are a top priority for further exploration where gas was generated at high levels. This made it possible for the first time to

definitely consider the black-shale thickness of Silurian as the entire potential gas deposit.

The development zone covers an area of 320 km from northwest to southeast with an area of about 16 thousand km². It is confirmed by more than 30 wells and belongs to the central part of the Lviv Paleozoic deflection and the north-eastern part of the Precarpathian deflection.

Estimation of the prognosis gas resources of the black-shale deposits of Volyn-Podillya was performed according to the methodology of the US Geological Survey for the poorly explored territories and amounts about 12 trillions m³ and the recoverable resources about 1.8 trillions m³.

According to the quantitative values of the main factors of the gas-bearing prediction Rava-Rusko-Krekhivsk and East-Lischinsk were selected as the high-priority gas areas in the Silurian shale strata within the Lviv-Kolomyia structural and facial zone with recoverable resources about 146 billions m³ and 98 billions m³.

For the contouring of prospective shale formations, a special complex of regional deep seismic surveying 2D with the methods of electric exploration, caused by polarization on profiles of a network of seismic profiles with a length of 1.5 thousand running kilometers, gravimagnetic and geochemical surveys, are proposed.

Cambrian sealed sandstones can be considered as an independent and an accompanying direction of work in the development of hydrocarbon resources of the Silurian shale due to their spreading area in structural plans mainly overlap.

There are several sandstone horizons stand out in the Cambrian section. The reservoir layers are shielded by clumps of clay rocks in the middle of the Cambrian strata, and in its roof stratigraphically cut layers shielded by Silurian clay sediments. Several facial areas are stand out:

- with satisfactory filtration-capacity properties (average porosity > 10%, permeability > 5 mD).
- with unsatisfactory filtration-capacity properties (average porosity <5-6%, permeability – 0.5 mD).
- with critical values of filtration-capacity properties (average porosity <7-9%, permeability 2-5 mD).

The prospects of gas bearing of the Cambrian compacted sandstones are related to the area of distribution of rocks with poor unsatisfactory filtration-capacity properties. This zone is confined to the hydrochemical zone of stagnant water exchange. The basic quantitative values of factors of prediction of gas bearing in compacted rocks are defined in the work:

- their area is regionally spreaded – more than 6000 km² and is not associated with traditional structural or other local traps. It may also include areas with improved reservoirs and certain local traditional hydrocarbon traps;
- catagenetic transformation of organic matter and compacted sandstones is at the stage MK₄-AK. and is very characteristic for a formation of hydrocarbons;

- maximum depths of perspective compacted collectors do not exceed 4000 m and are economically and technologically acceptable for the use of modern technologies;
- the thicknesses of sand-silt deposits in the selected area are 50 m or more, which is an important factor for the accumulation of significant gas resources;
- the presence of a low water area, which is a favorable factor for the prospects of gas bearing in compacted sandstones.

Based on the determined quantitative values of the factors of prediction of gas accumulations in compacted sandstones it is proved that the most promising stratigraphic complex for gas search in Volyn-Podillya is Cambrian deposits. The prospects of their industrial gas-bearing capacity are related to the zone of development of rocks with unsatisfactory filtration-capacity properties over an area of more than 6000 km². The prognosis recoverable gas resources of the area are estimated around 340 billions m³.

There is a selected high-priority zone of 1250 km² within the perspective area of the gas-bearing compacted Cambrian sandstones. Its prognosis recoverable gas resources is approximately 200 billions m³, and its high prospects are also confirmed by the intense gas seeps during drilling wells of Cambrian sealed collectors.

Non-traditional sources are difficult to extract and they are high-cost. However the significant resources of hydrocarbons and the rapidly evolving technologies make them quite attractive and cost-effective.

So far as all these unconventional sources are characterized by similar mining and geological conditions of the occurrence and require modern and practically identical technologies of discovery and extraction then the benefits of prioritizing their development are first and foremost related to the quantity of the prognosis recoverable resources. On this basis, black shale deposits of the Silurian are more priority for development.

The practical significance of the results is to determine Volyn-Podillya as one of the prospective areas of Ukraine for non-traditional sources of hydrocarbons;

- gas-bearing of a new stratigraphic complexes – the Silurian shale and Cambrian compacted deposits are justified, quantitative assessment of their prognosis gas resources and a significant increase in the raw material base of hydrocarbon production in Ukraine;
- selected of perspective zones and prime areas for a geological exploration works.

The results of the dissertation research and implementation of the practical recommendations will contribute to the effective solution of the problem of complex development of all types of hydrocarbon sources of Volyn-Podillya, which will be a significant contribution in increasing the production of hydrocarbon raw materials in Ukraine.

Keywords: Volyn-Podillya, black shale deposits, compacted sandstones, shale gas, gas resources.